

VERA (GENJI)/KaVA/VLBAで探る 3C84ジェットのエ波構造および超光速運動

M2 平野あゆみ (山口大学)

新沼浩太郎、藤沢健太 (山口大学)

永井洋、秦和弘 (国立天文台)

紀基樹 (工学院大学/国立天文台)

GENJI collaboration

電波銀河 3C 84



Perseus A
NGC 1275の電波源

$z=0.0176$

$M_{\text{BH}}=3.4 \times 10^8 M_{\text{SUN}}$

(Wilman et al. 2005)

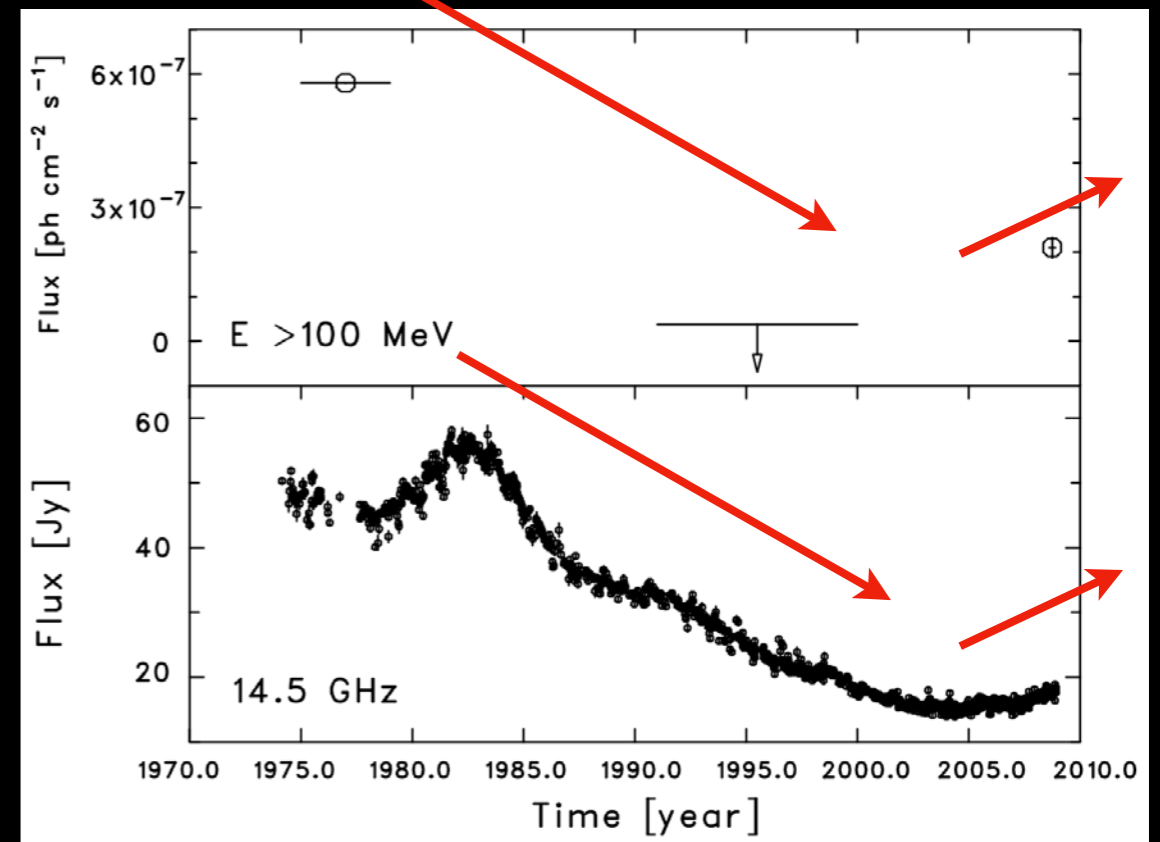
$1 \text{ mas} = 0.35 \text{ pc} = 6000 R_s$

HST image of NGC 1275

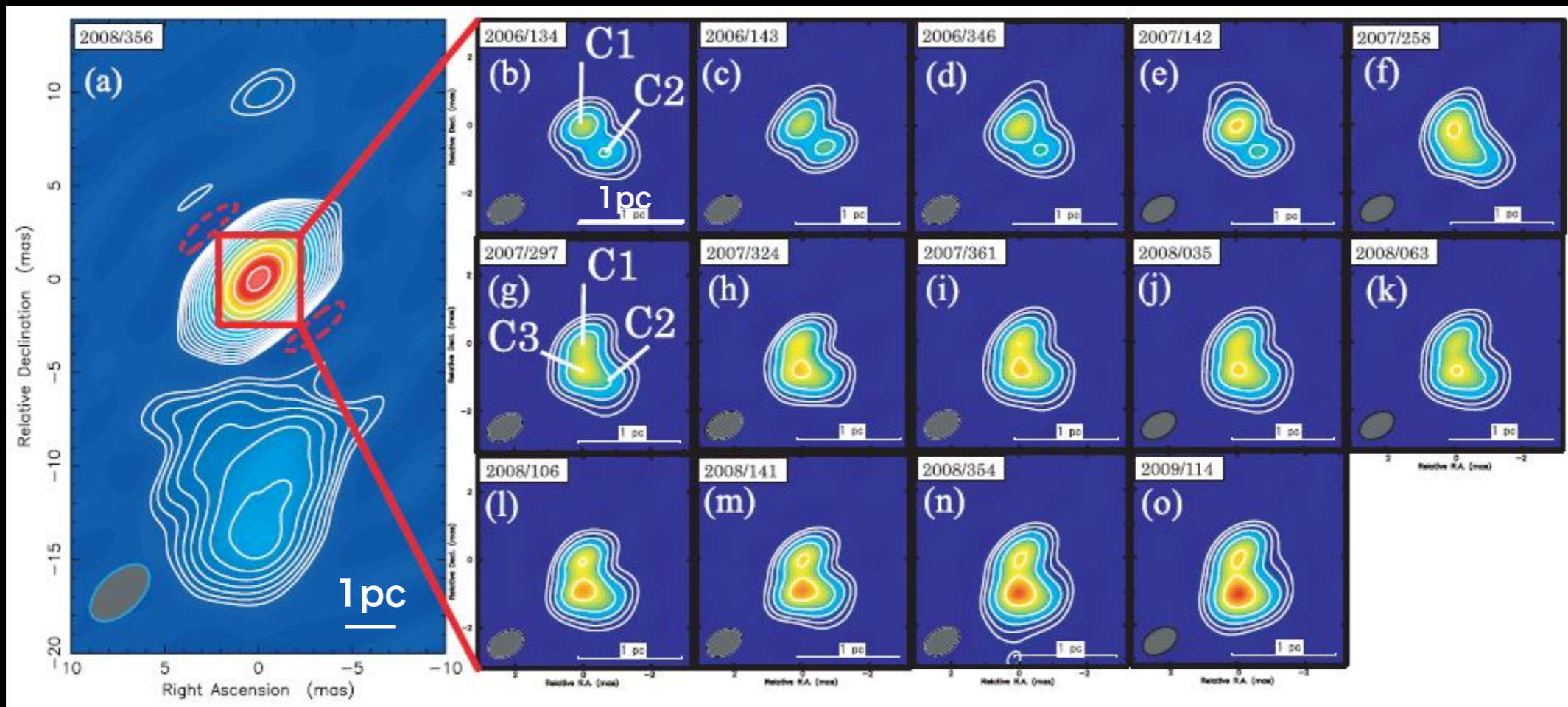
Image courtesy of NASA, ESA, and M. Livio (STScI)

電波銀河 3C 84

- ガンマ線検出天体
- 1980年以降、電波帯では減少傾向
- 2005年を境に増光
→新たなジェット成分：C3



Abdo et al. 2011

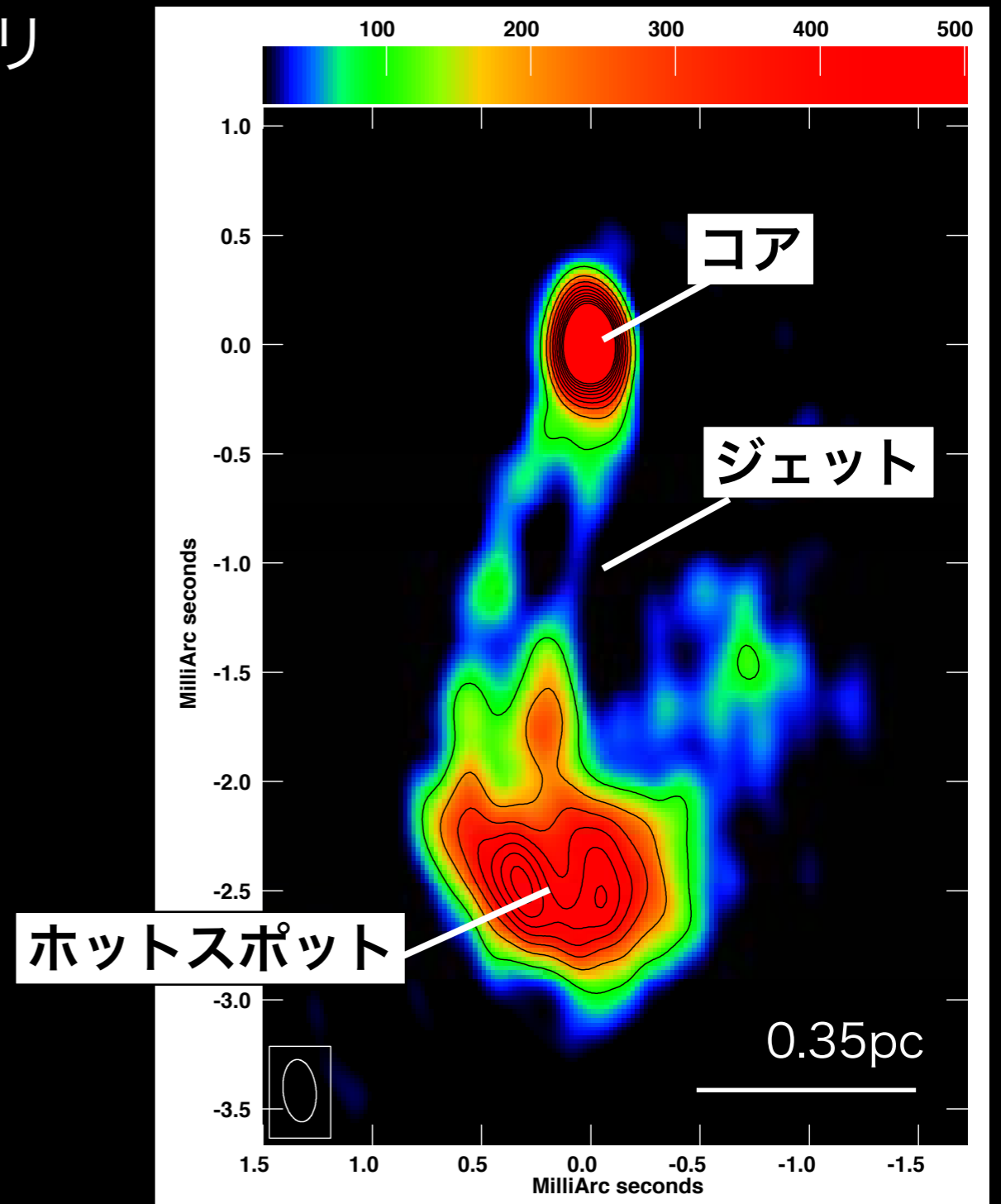


(a)JVN 8 GHz , (b)-(o)VERA 22 GHz image

Nagai et al. 2010

電波銀河 3C 84

- コアから0.7pcに至る領域に二股リム構造が見える(Nagai et al. 2014)
- ホットスポット(C3)の速度
~0.3c (Hiura et al. 2018)
ジェット上流部の速度は未測定
- ジェット視線角は諸説
 $\theta = 18^\circ$ (Tavecchio et al. 2014)
 $\theta = 25^\circ$ (Abdo et al. 2009)
 $\theta = 65^\circ$ (Fujita & Nagai 2017)



3C 84 VLBI data

観測データは高頻度かつ長期的

- **VERA 22GHz (GENJI)**

2007.10 - 2013.12 by Hiura + 2018

2014.1 - 2018.6 by Hirano + in prep.

- **KaVA 43GHz**

2015.8 - 2018.6 by Kino, Niinuma + in prep.

- **VLBA 43GHz (Boston U.)**

2010.11 - 2019.2

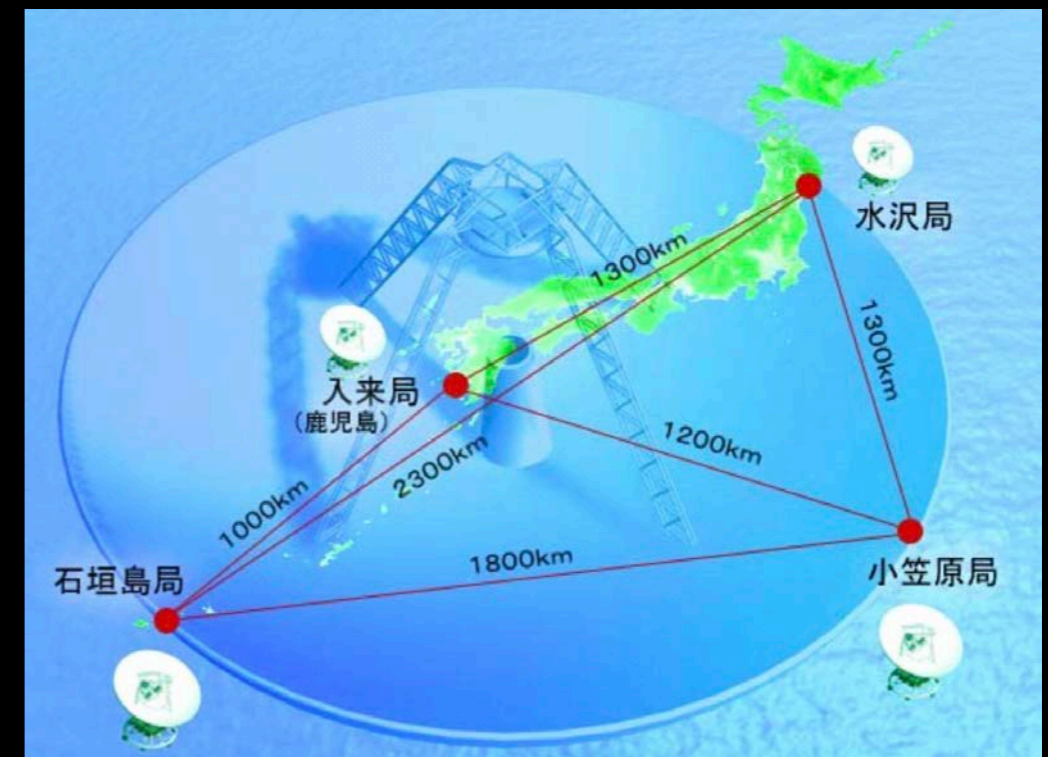
GENJI programme

- Gamma-ray Emitting Notable-AGN monitoring by Japanese VLBI

- AGNにおけるガンマ線放射領域の探査
ガンマ線放射機構の解明

- VERA 22 GHz
1天体あたり1~2週間に一度の
高頻度モニタリング

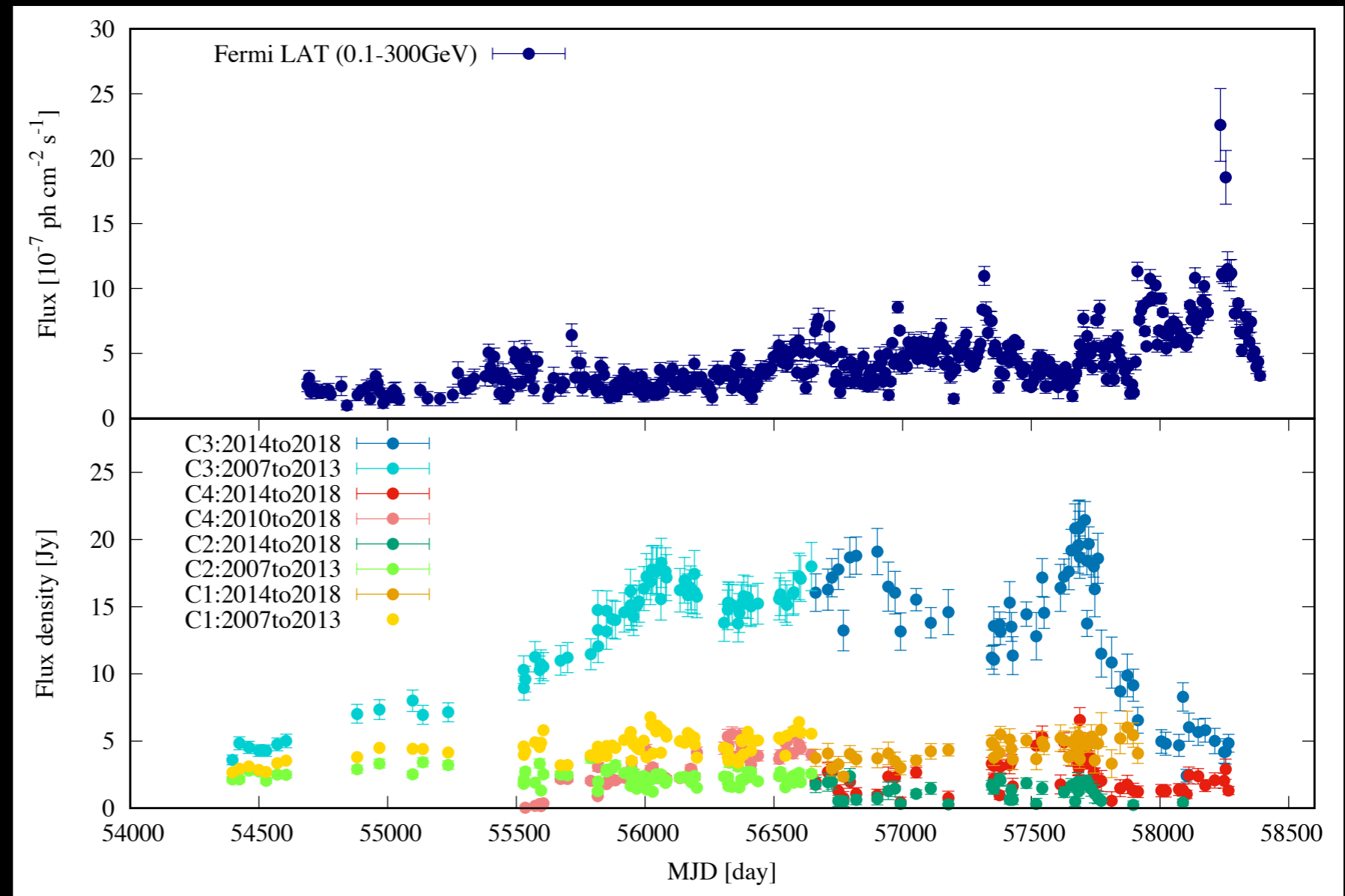
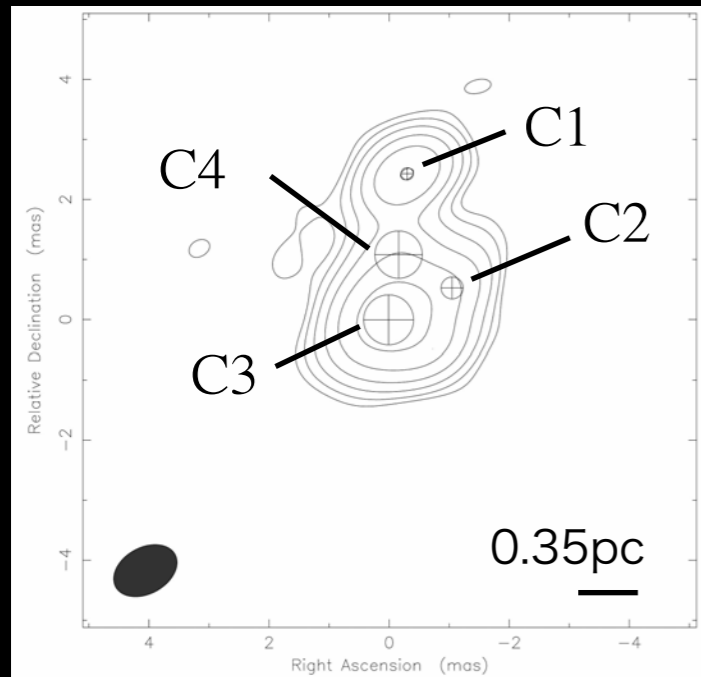
VERA角度分解能
~ 1.2 mas @22GHz



Target

M87 / BL Lac / PKS1510-089 / OJ287 / CTA102 /
NRAO530 / 3C454.3 / 3C84 / DA55 / DA406

VERA data results



- VERA 22GHz (GENJI)

2007.10 - 2013.12

by Hiura +2018

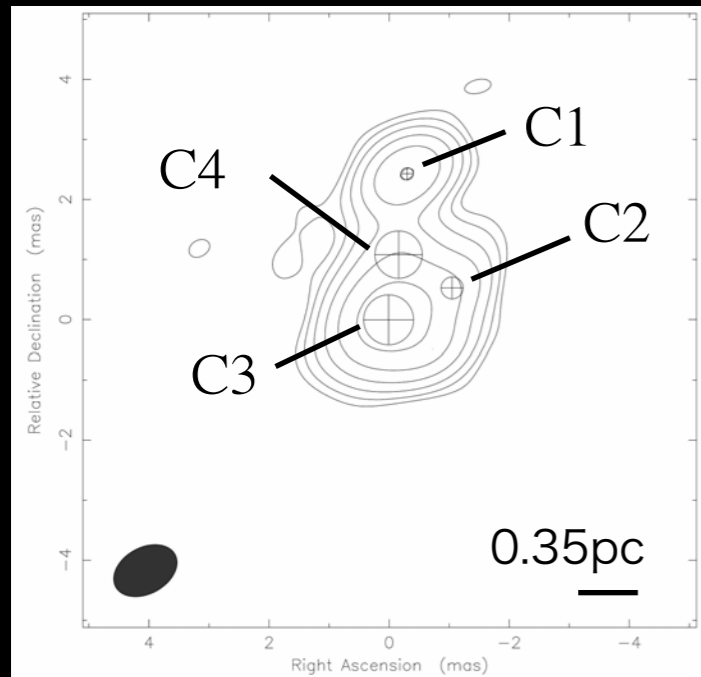
2014.1 - 2018.6

by Hirano

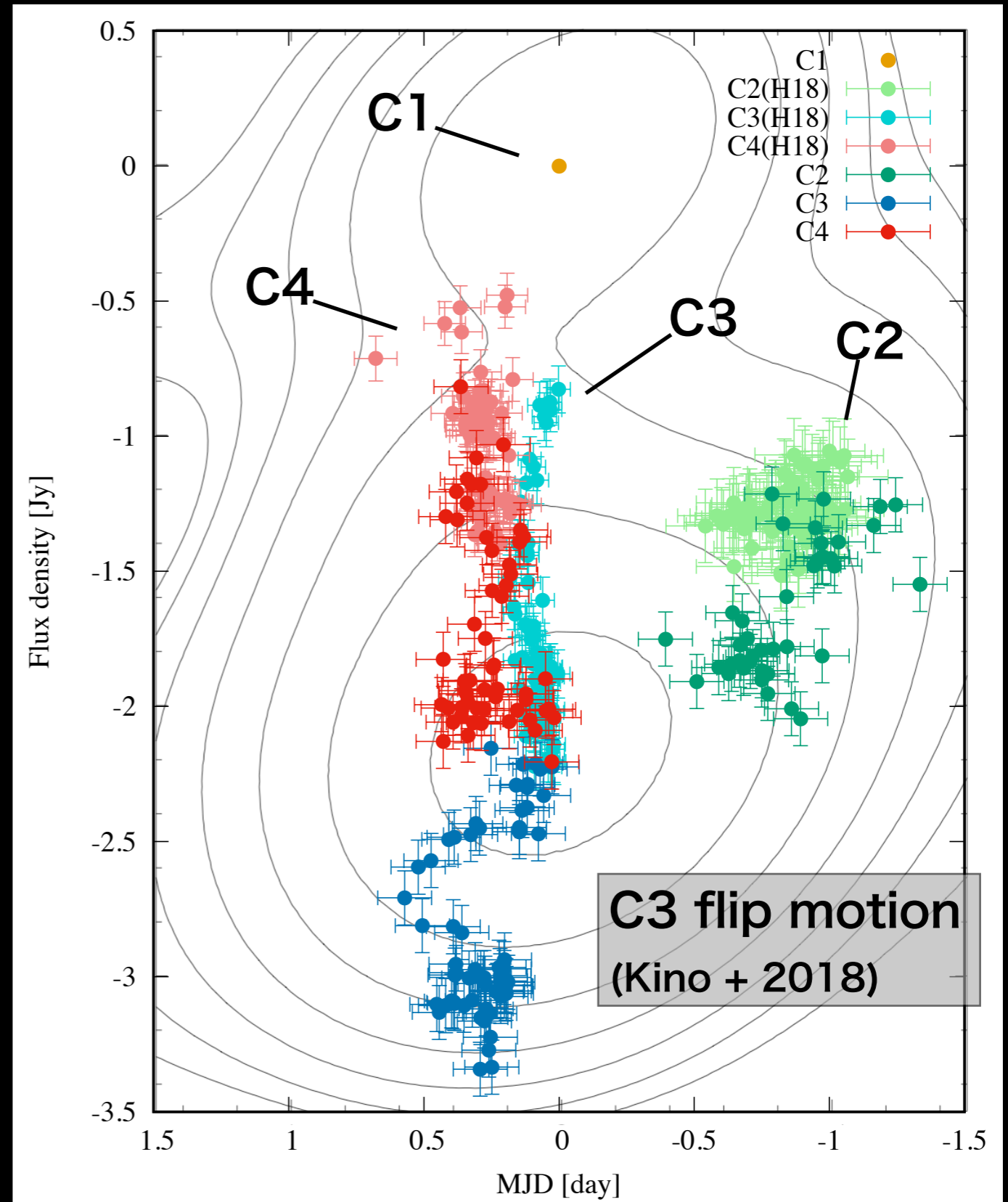
- Gamma-ray

2008年以降、Fermi衛星により検出
C3の強度変動のみでは説明できない

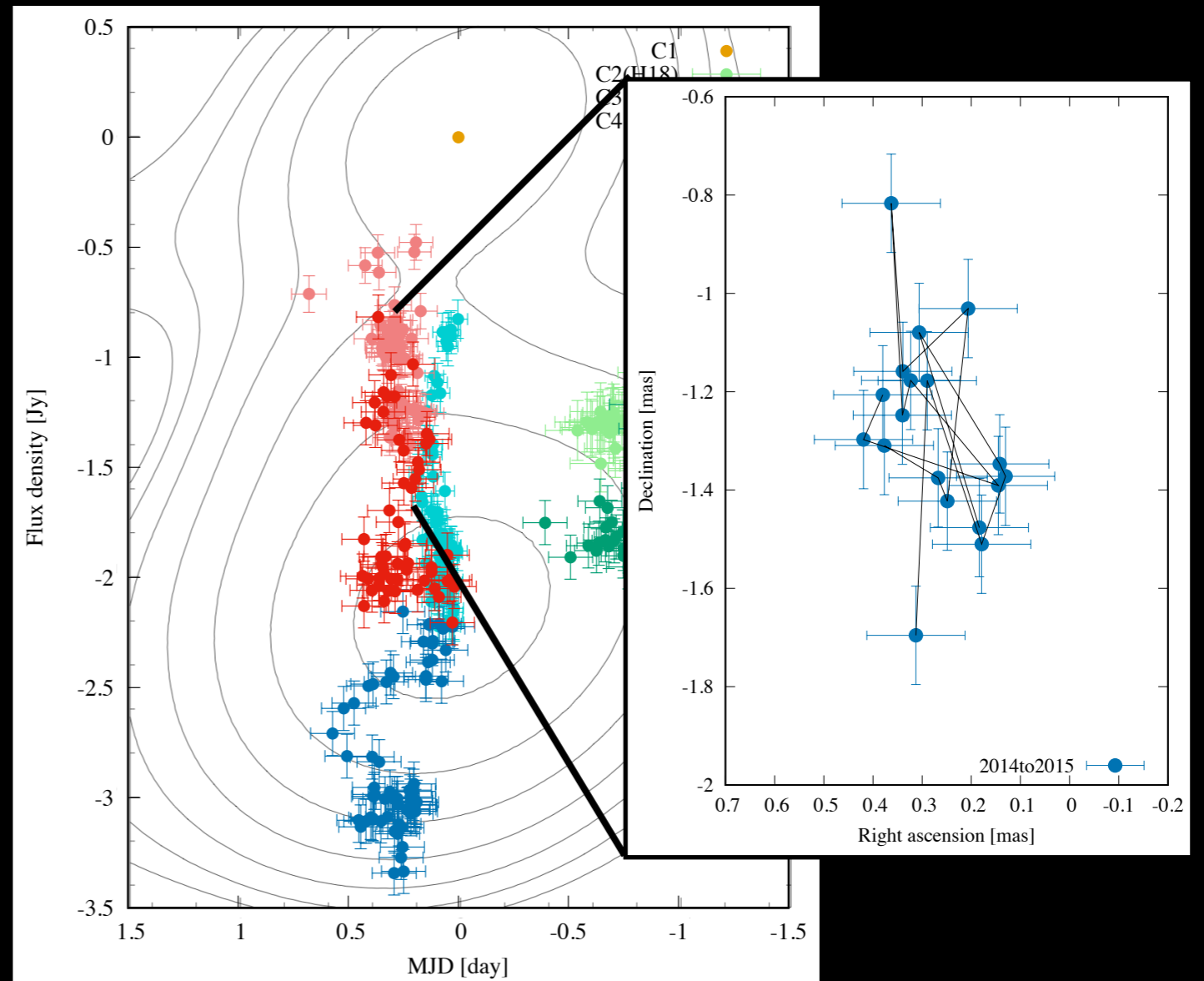
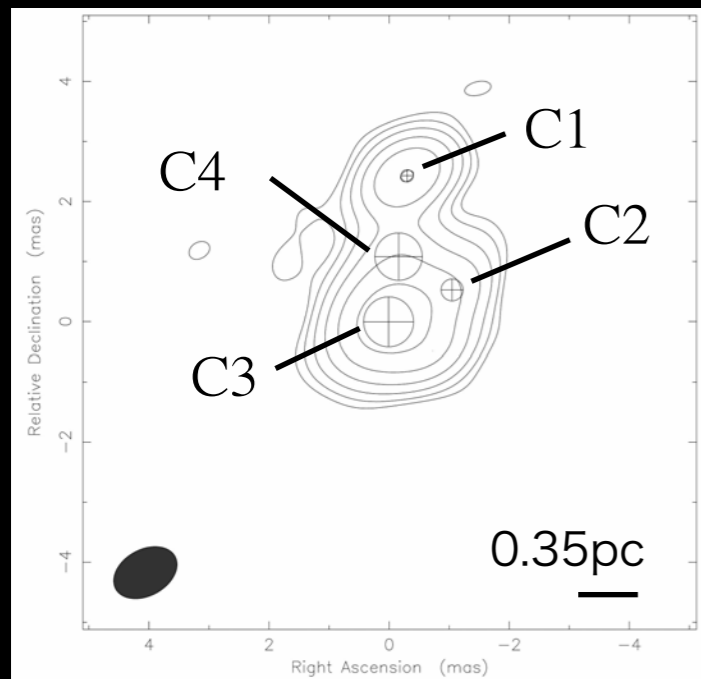
VERA data results



- VERA 22GHz (GENJI)
2007.10 - 2013.12
by Hiura +2018
2014.1 - 2018.6
by Hirano



VERA data results



- VERA 22GHz (GENJI)

2007.10 - 2013.12

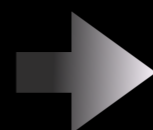
by Hiura +2018

2014.1 - 2018.6

by Hirano

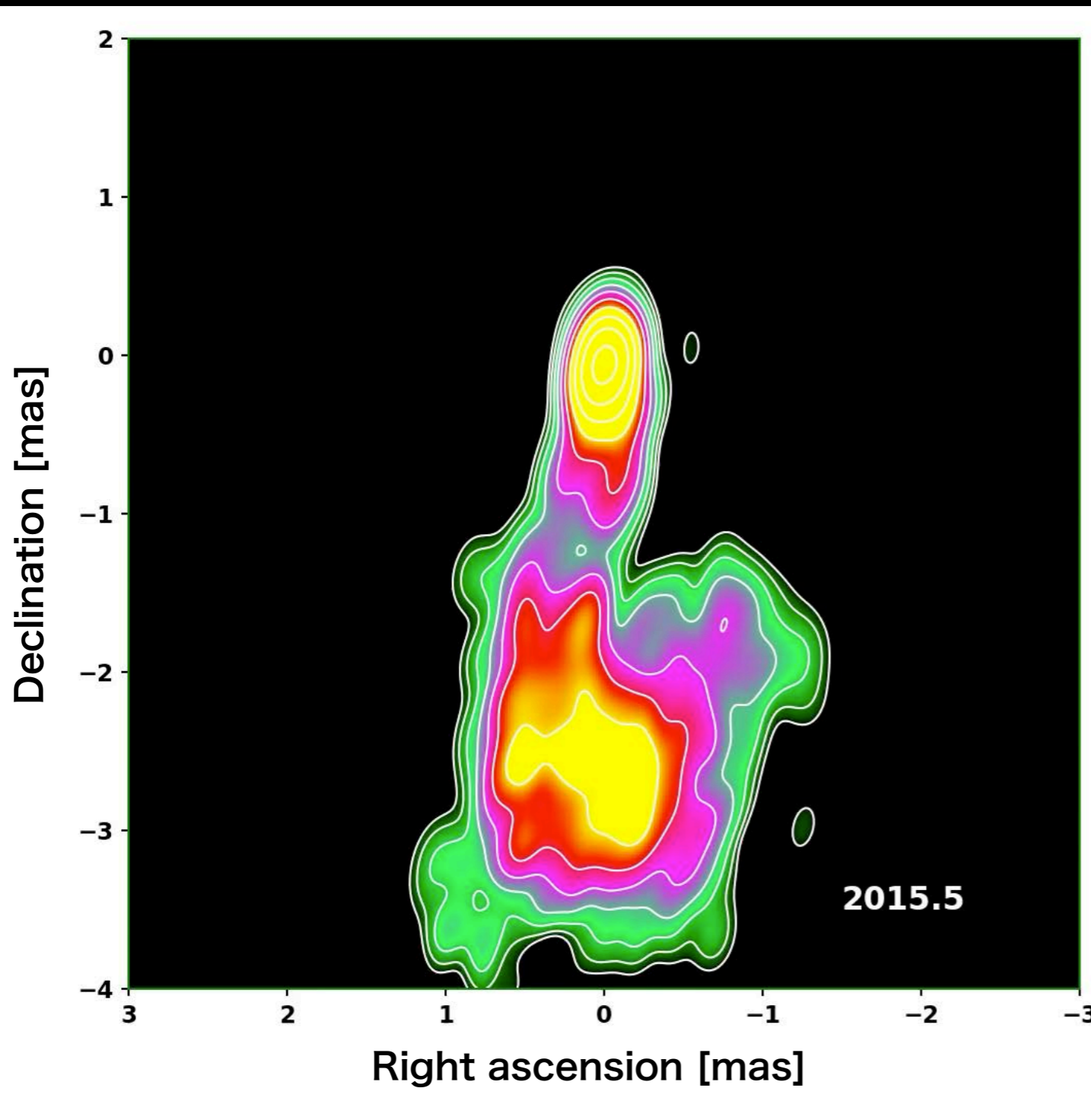
- C4の特異な動き

2014 - 2015年で3週間のタイムスケール
で0.1pcほどのふらつき



High resolution data **VLBA**

VLBA image movie



- VLBA 43GHz

2010.11 - 2019.2

by Boston U.

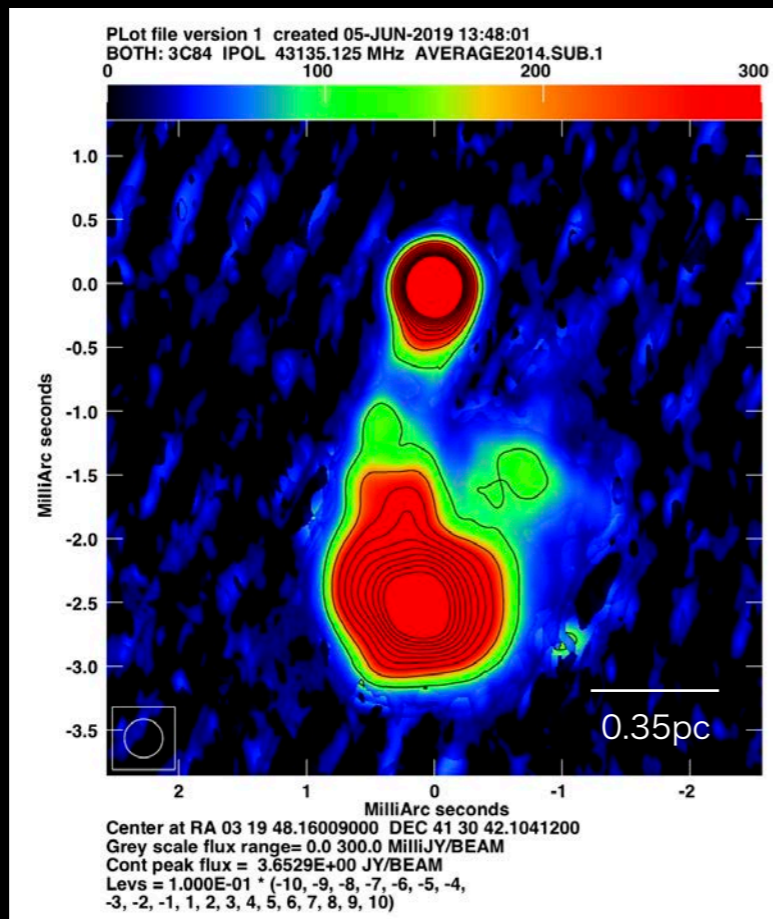
- clean image (79epoch)
- beam size
0.16mas×0.3mas, 3.5°
- エポック間を線形で繋ぐ

コアから0.7 pc南へ至る領域で
複数の短命なノットが生じている

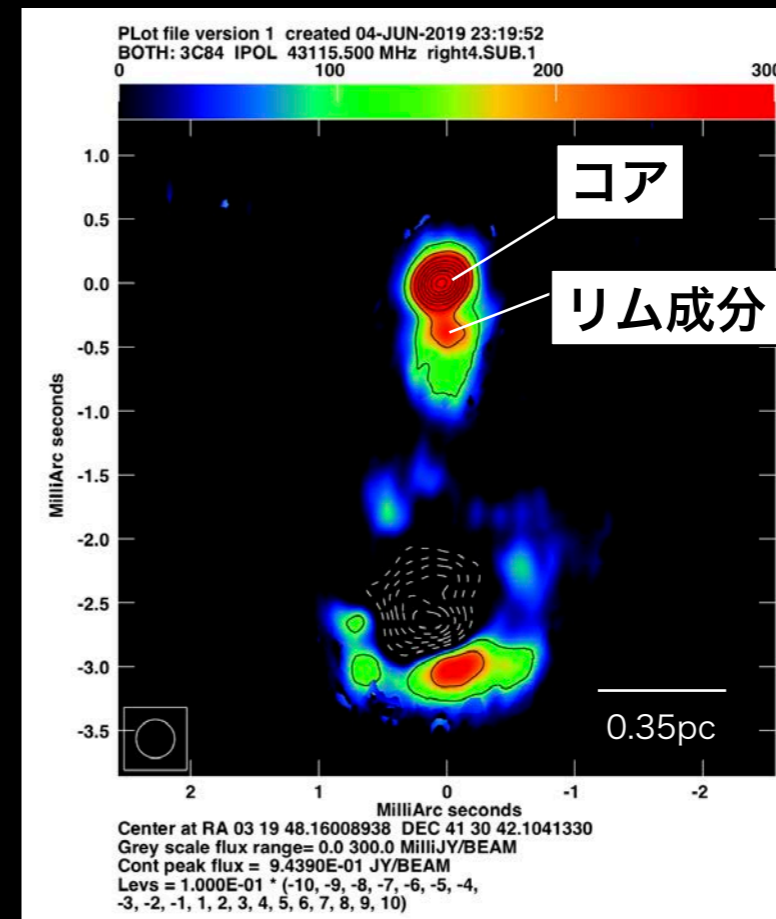
ジェットが非常に速く流れている
ように見える

VLBA 強度差分マップ

- 2014年1 - 12月, 8epochで強度平均マップ作成 : task COMB (AIPS)
- 2014年12月以降のclean imageから平均マップを差し引いて差分マップ作成
- 全epochの平均rms値から決定した 3σ ($3 \times 5.233 \times 10^{-3}$)以上で作成
- 差分マップ上で50mJy/beam以上のノットにガウシアンモデルfitting : task JMFIT (AIPS)



平均マップ



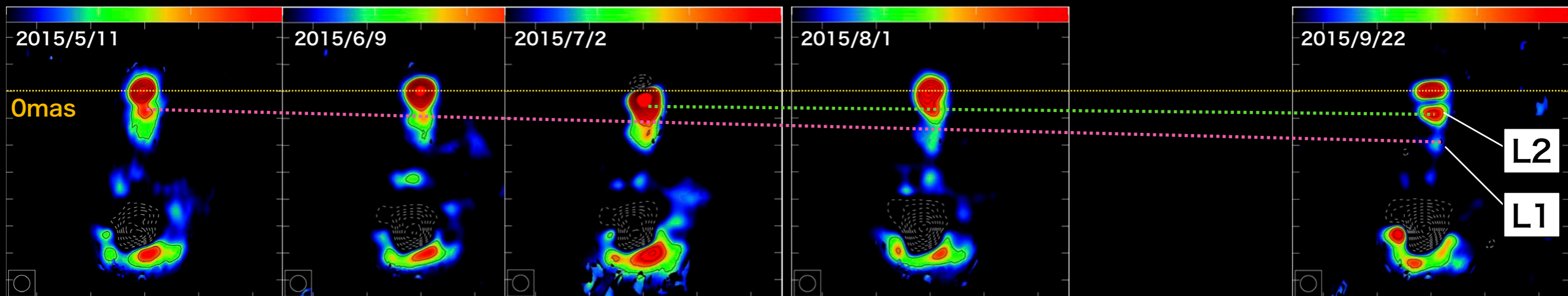
差分マップ : 2015/5/11

VLBA 強度差分マップ

- 2014年1 - 12月, 8epochで強度平均マップ作成 : task COMB (AIPS)
- 2014年12月以降のclean imageから平均マップを差し引いて差分マップ作成
- 全epochの平均rms値から決定した 3σ ($3 \times 5.233 \times 10^{-3}$)以上で作成
- 差分マップ上で50mJy/beam以上のノットにガウシアンモデルfitting : task JMFIT (AIPS)

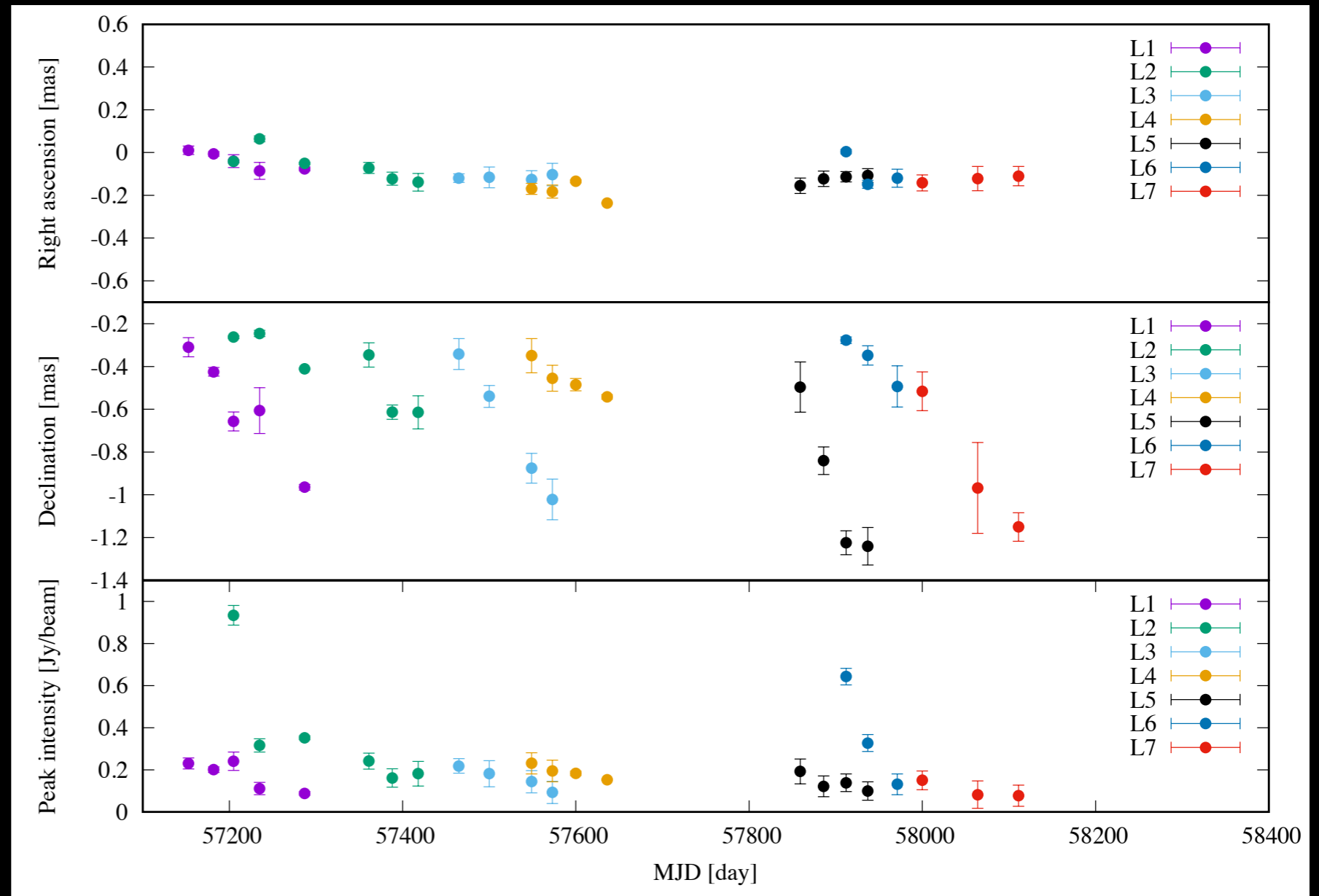
リム成分 : L1

130日で0.2pc南へ運動している



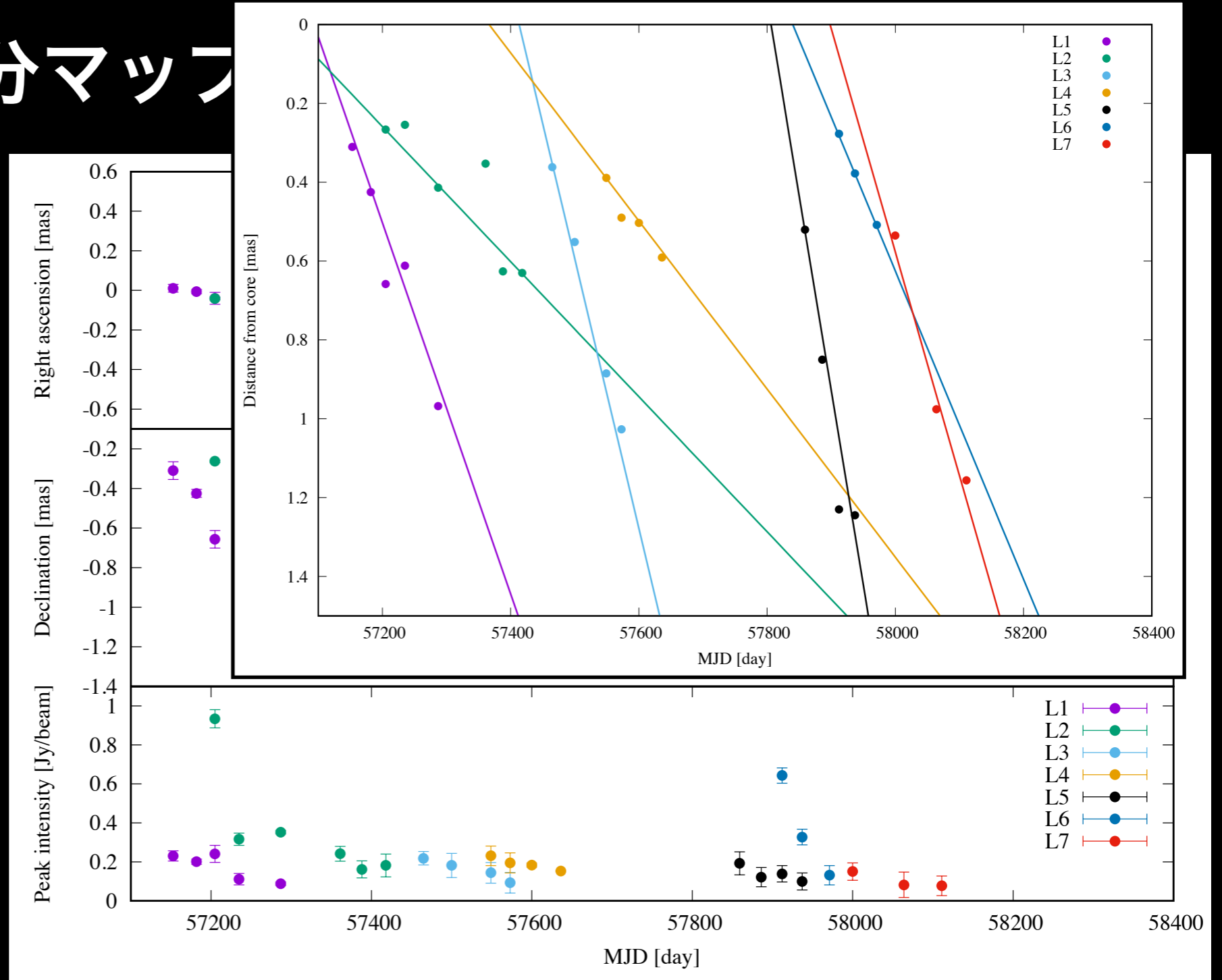
VLBA 強度差分マップ

- 7成分検出
(連続する3枚以上で
成分同定)
- 100 - 200日ほどで
検出感度以下まで暗
くなる



VLBA 強度差分マップ

- 7成分検出
(連続する3枚以上で成分同定)
- 100 - 200日ほどで検出感度以下まで暗くなる
- **超光速運動する成分検出 ($\beta_{app} \sim 1-4$)**



No.	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
β_{app}	1.91 ± 0.31	0.69 ± 0.19	2.77 ± 0.61	0.86 ± 0.17	4.0 ± 0.86	1.58 ± 0.02	2.30 ± 0.35
$\beta (\theta = 25^\circ)$	0.87	0.66	0.94	0.72	0.99	0.85	0.92
δ	2.3	1.7	2.3	2.0	1.4	2.3	2.4

Discussion

1. C4とリム成分

C4(VERA)のふらつきの原因

VERAの角度分解能(22GHz; 1.2mas)
で分解できないリム成分(VLBA)が混在
→複数成分における輝度重心の変動

2. 超光速運動

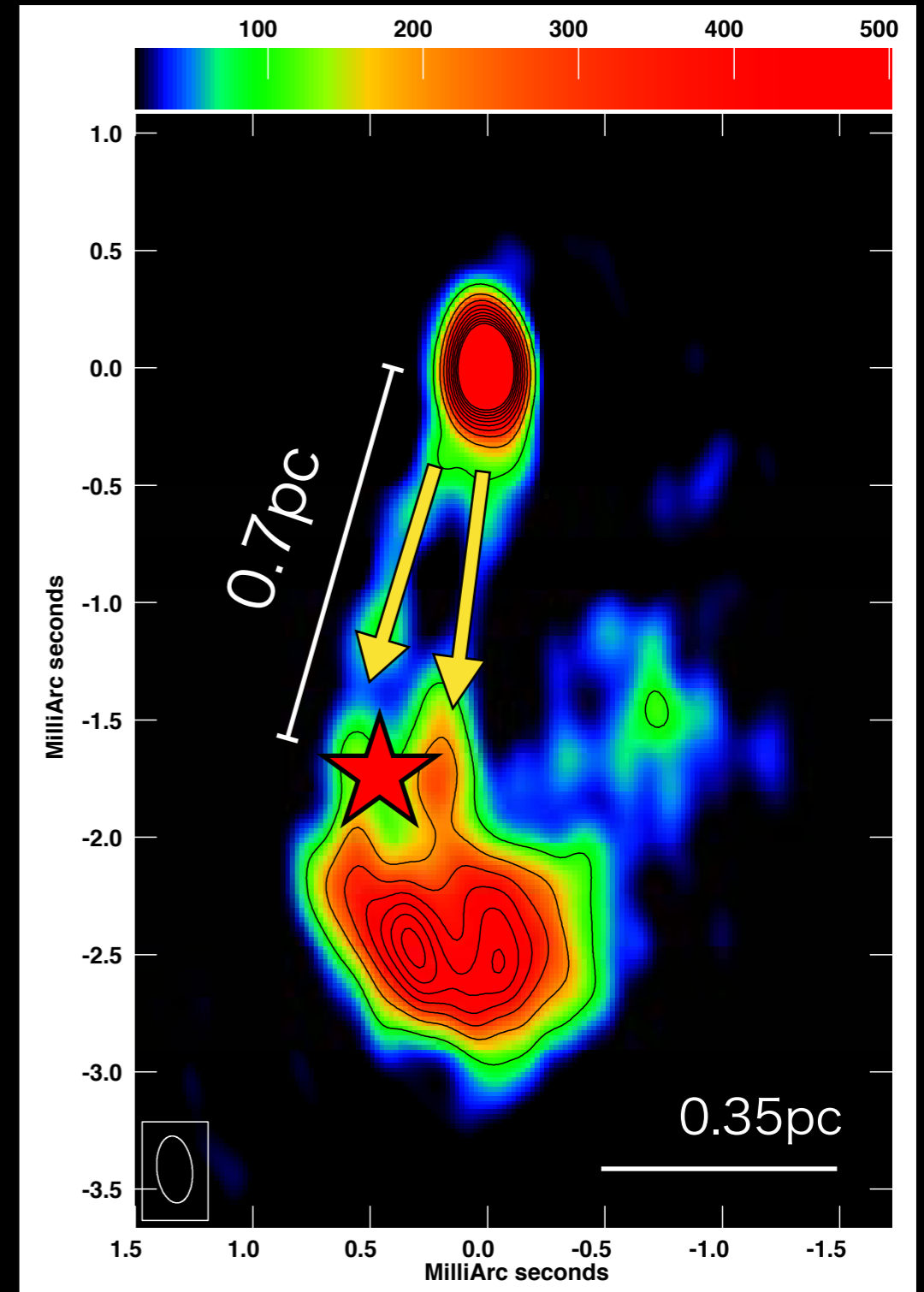
3C84では
初検出!

L3の場合:

実距離0.54pc ($\theta = 25^\circ$, 1mas=0.35pc)

見かけの速度 $\beta_{app} = 2.77$

$0.93 \times 10^4 R_s$ の領域で $\beta = 0.94$ まで加速されている



Discussion

3. ジェット視線角度の制限

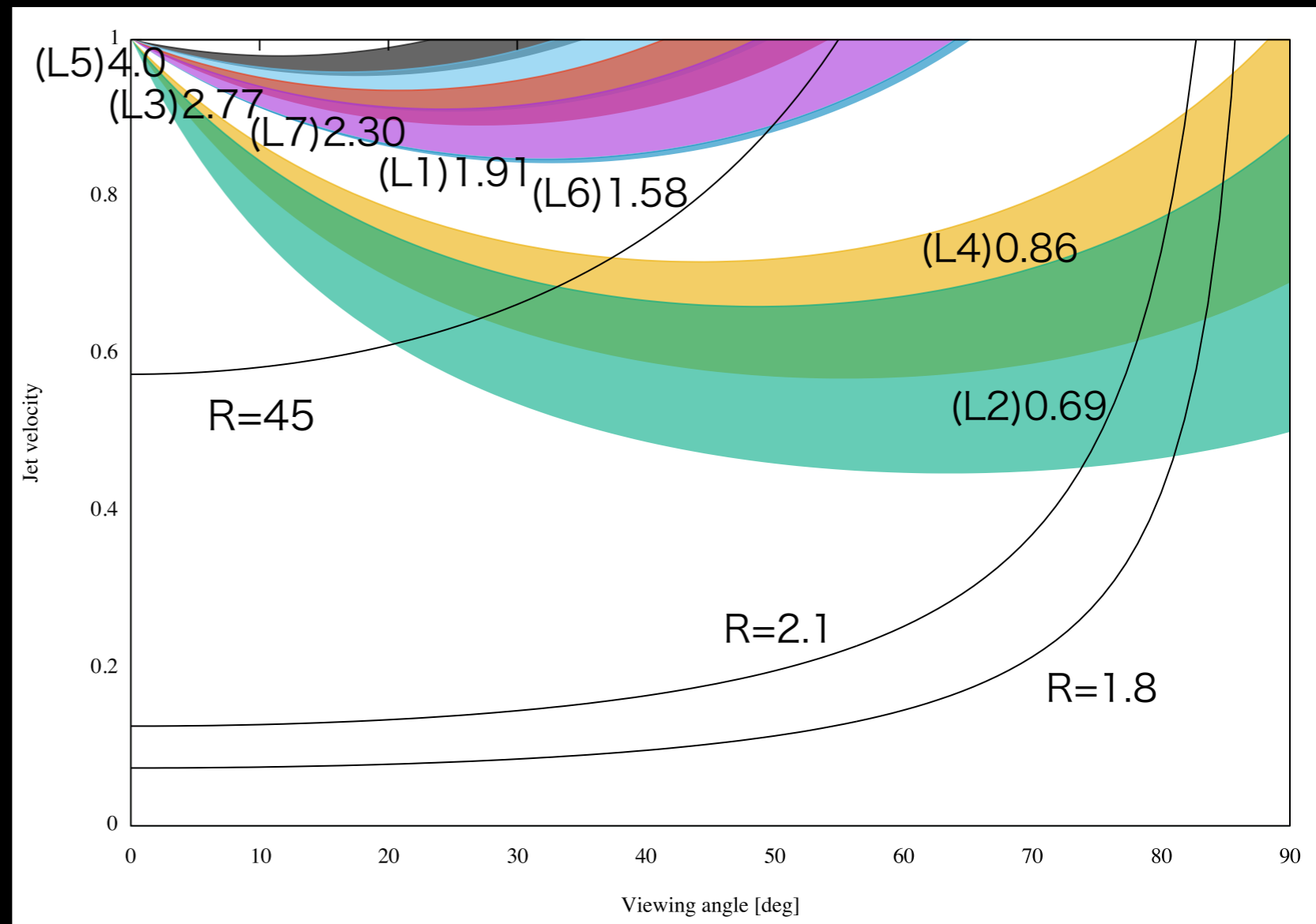
jet-counter jetの輝度比R
(Fujita & Nagai 2017)

$$R = \left(\frac{1 + \beta \cos \theta}{1 - \beta \cos \theta} \right)^{\alpha + m}$$

$$\alpha_{15-43} = -0.91$$

$$m = 2, 3$$

- $R=1.8$ for $m=2$
- $R=2.1$ for $m=3$
- $R_{obs}=45$ at 43GHz



Discussion

3. ジェット視線角度の制限

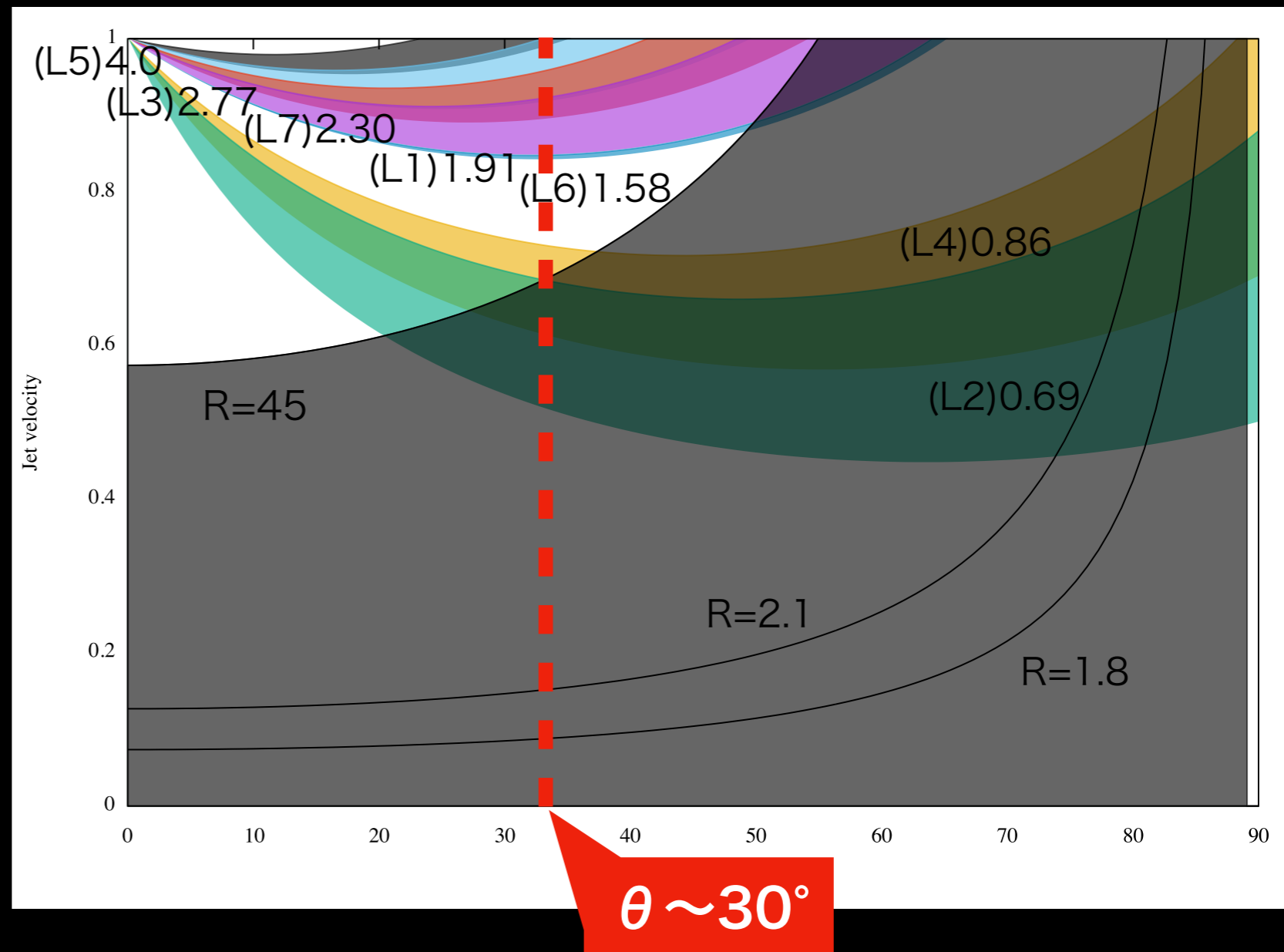
jet-counter jetの輝度比R
(Fujita & Nagai 2017)

$$R = \left(\frac{1 + \beta \cos\theta}{1 - \beta \cos\theta} \right)^{\alpha+m}$$

$$\alpha_{15-43} = -0.91$$

$$m = 2, 3$$

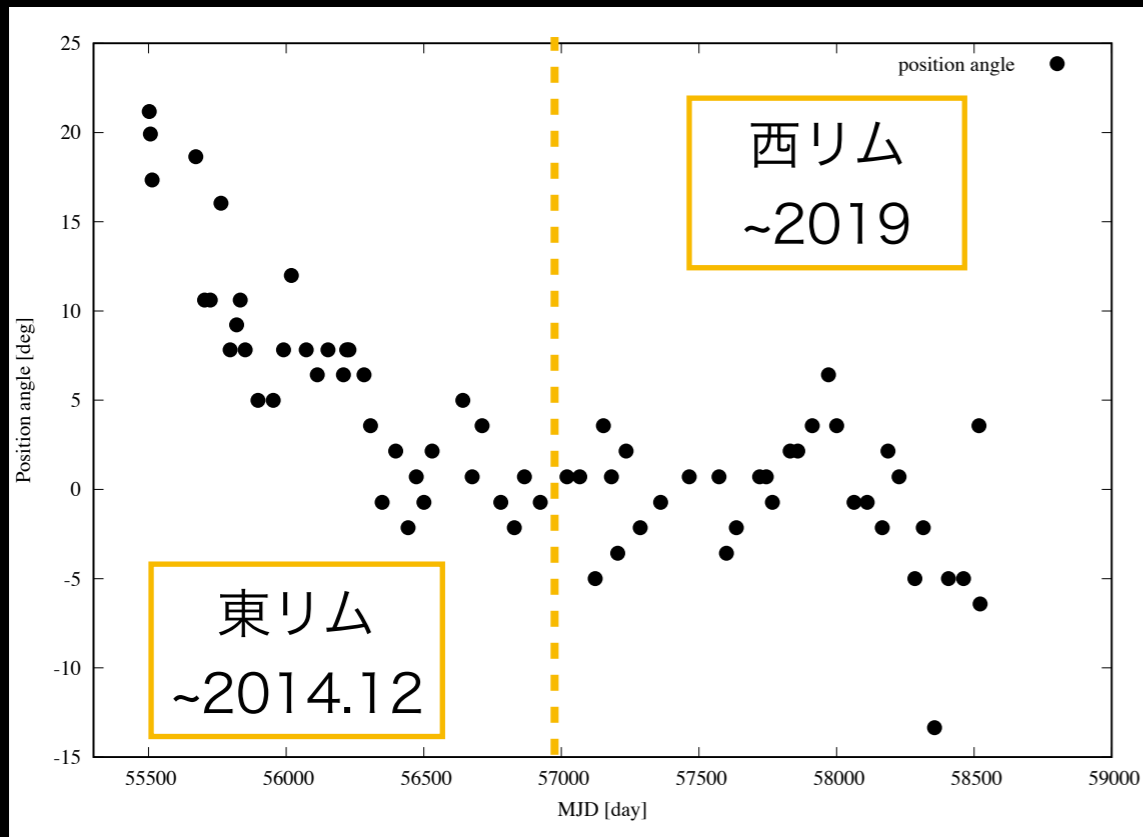
- $R=1.8$ for $m=2$
- $R=2.1$ for $m=3$
- $R_{obs}=45$ at 43GHz



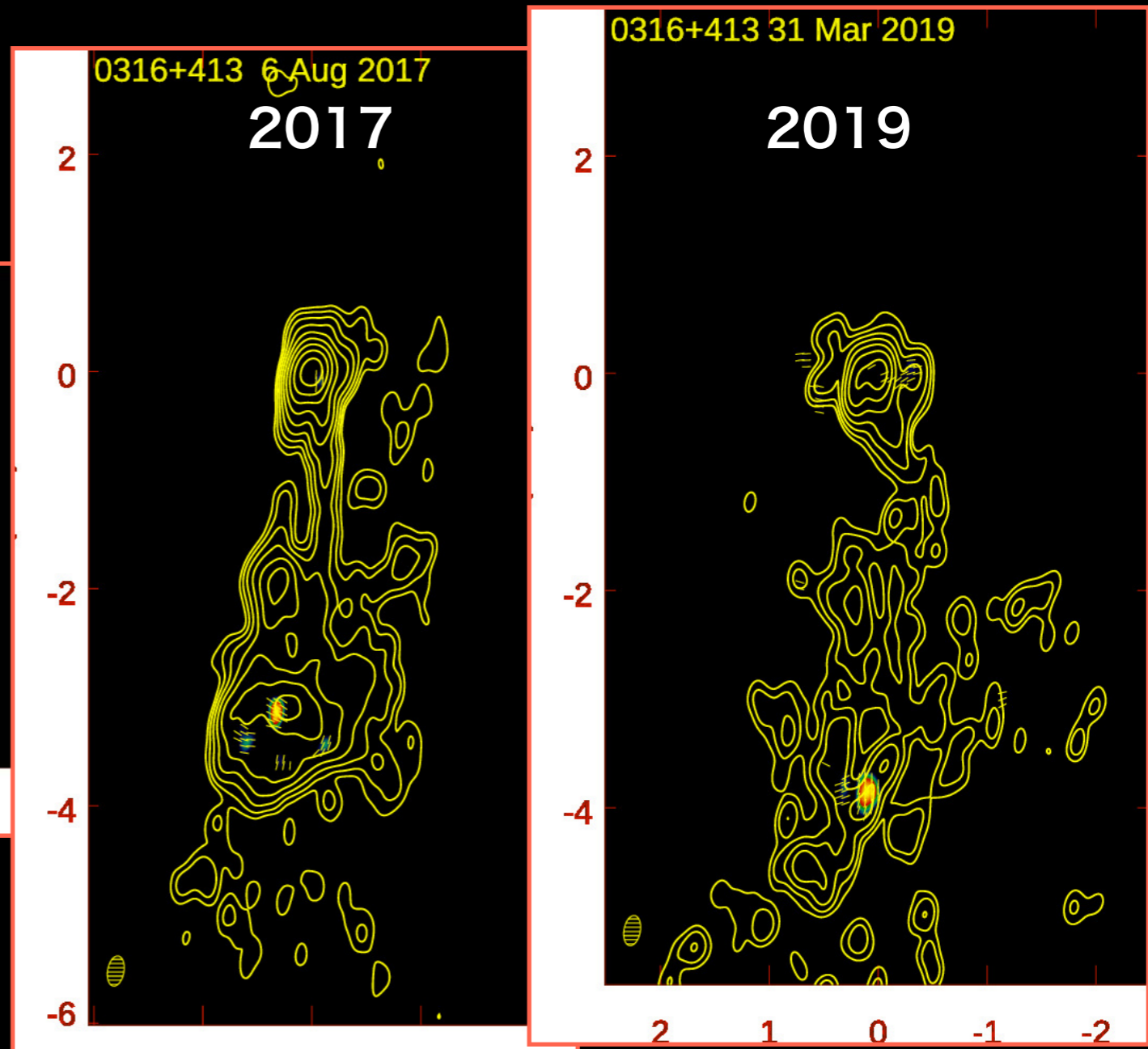
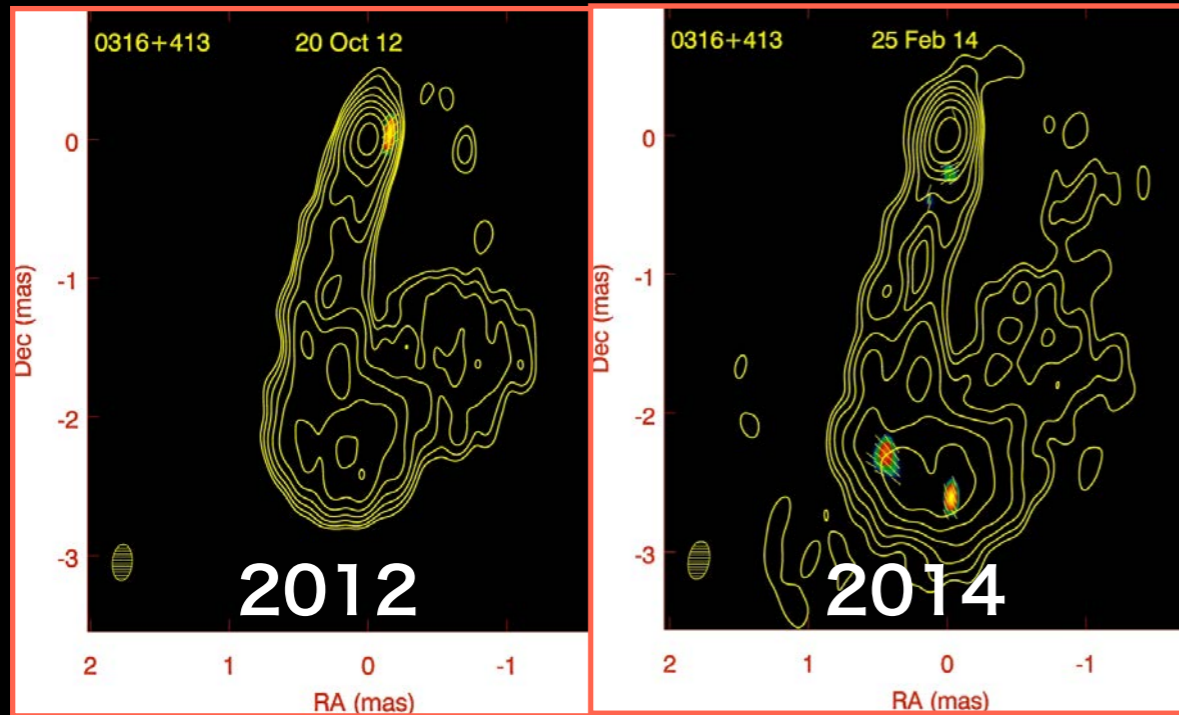
Summary

- VERA dataではジェット成分C4にふらつく様子が見え、内部構造調査のためVLBA dataを用いた
- VLBA image movieでリム構造にて複数の短命な成分を発見し、強度差分マップを作成したところ超光速運動する成分を検出($\beta_{app} \sim 1-4$)
- C4のふらつきの原因は、VERAの分解能不足からリム成分が混在し成分の輝度重心が変動したものである
- ジェットの速度から視線角の制限を考えた

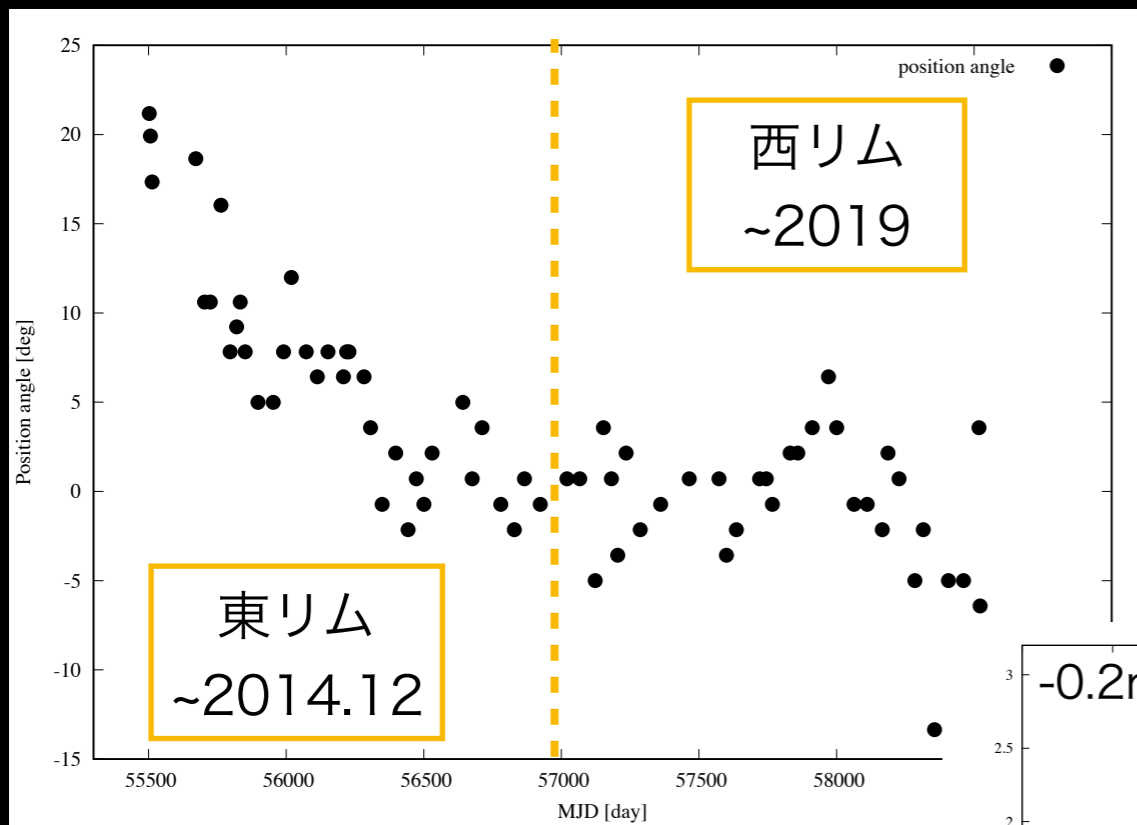
Future work



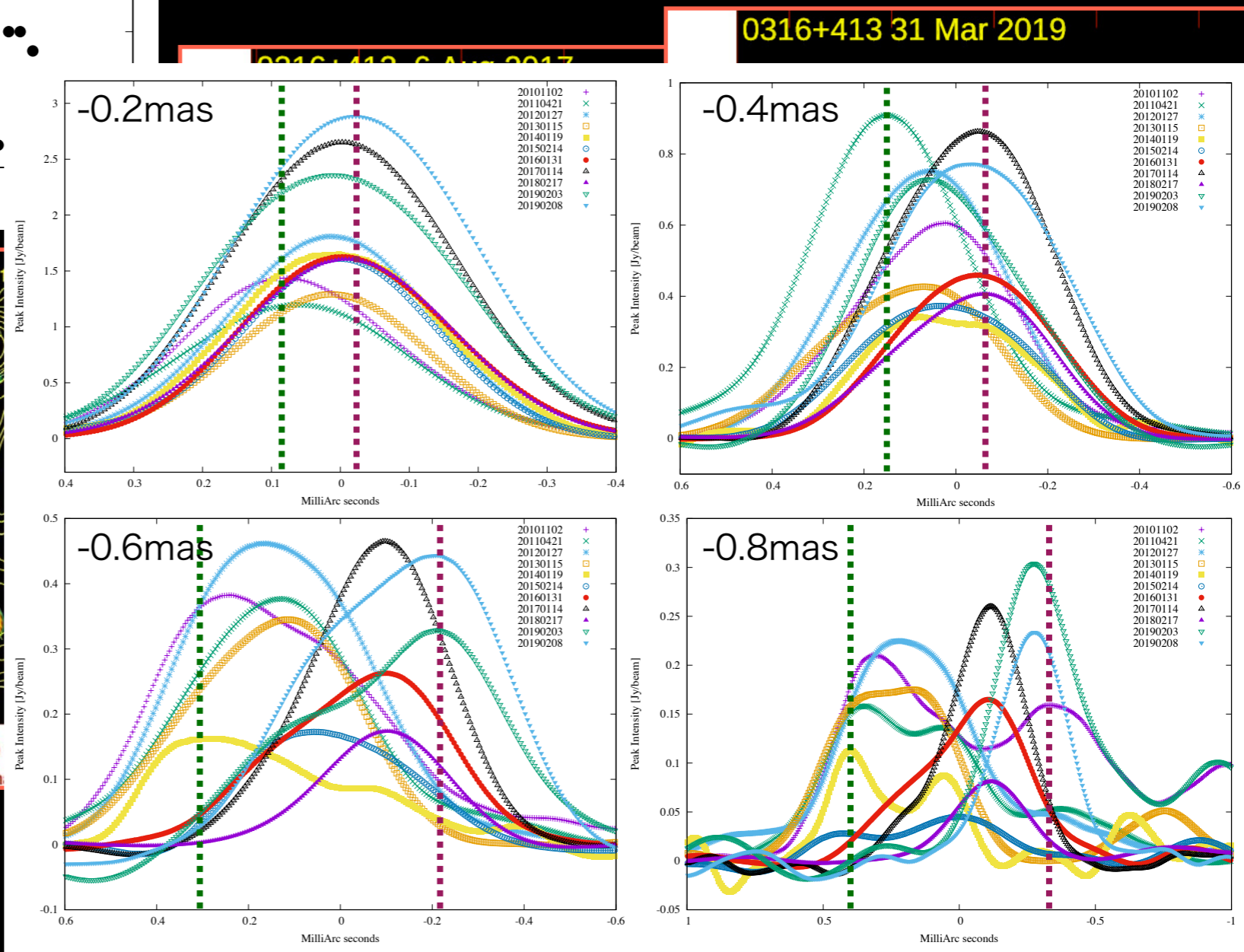
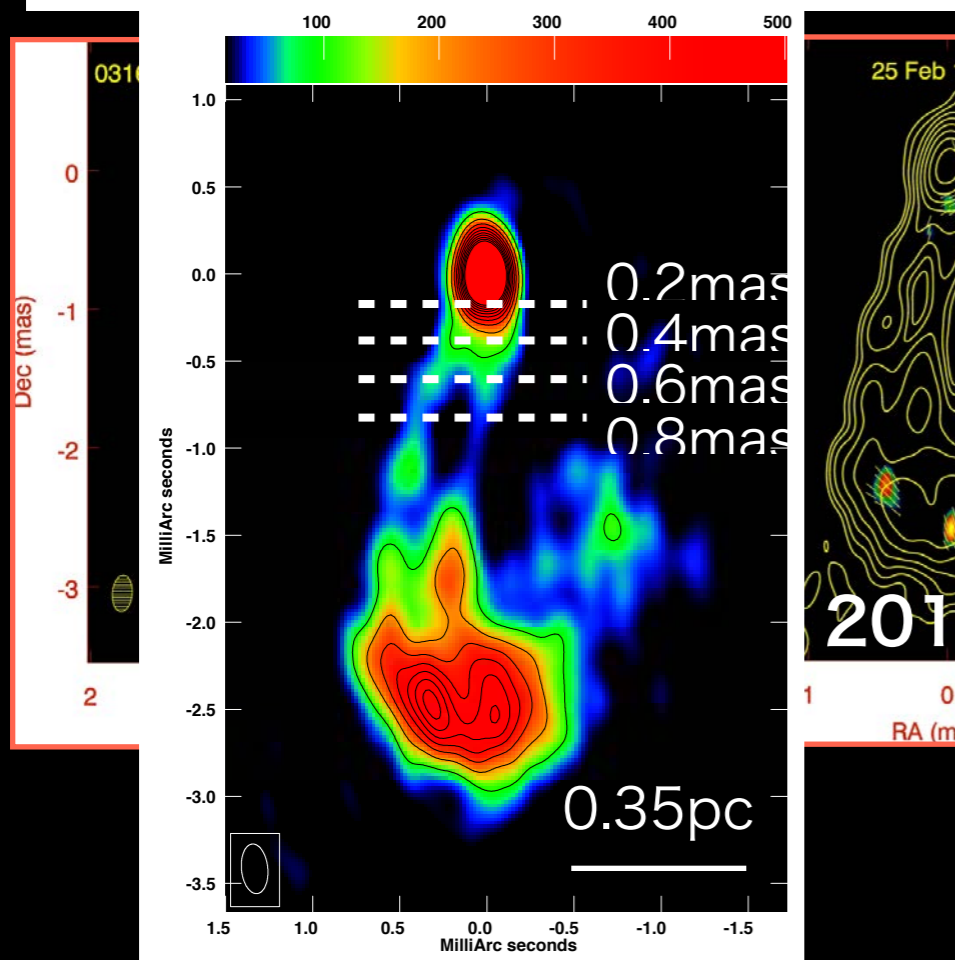
二股リムで東西のリム輝度比が変化しておりジェット的位置角と輝度比の関係を議論していく



Future work



二股リムで東西のリム輝度比が変化しておりジェットの位置角と輝度比の関係を議論していく



0 2 1 0 -1 -2